相对湿度对家禽水蒸发散热和健康的影响

周 莹 张敏红*

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193）

摘 要：相对湿度（RH）作为温热环境的重要因素之一，与温度和风速等共同影响家禽的热平衡状态。当 RH 适宜时，蒸发散热（EHL）达到最大；高温环境下，高湿会阻碍家禽的 EHL，从而造成体温上升、呼吸加快、食欲下降，严重时导致酸碱平衡紊乱、热虚脱和呼吸性碱中毒。本文主要综述水蒸发散热（EWL）在家禽热平衡调节中的重要作用，及 RH 对家禽 EWL 的影响，并结合由此而引发的对家禽健康的影响，探讨 RH 在家禽实际生产中的重要作用。

关键词：相对湿度；家禽；水蒸发散热；呼吸水蒸发散热；皮肤水蒸发散热；健康

中图分类号：S852.2；S831 文献标识号： 文章编号：

在家禽现代化集约化养殖模式中，温热环境主要包括温度、相对湿度（RH）和风速，其中温度起着主要作用[1]。RH 作为温热环境的重要因素之一，与温度和风速等共同影响家禽的热平衡状态。RH 对家禽影响的文献可以追溯到 20 世纪 30 年代，最早开始研究 RH 对鸡胚生长、钙代谢和死亡率的影响[2]。自 20 世纪 70 年代起，RH 逐步应用于家禽的温热环境研究，数据更多的集中在阐述 RH 对家禽生产性能的影响。而在国内仅有林海、顾宪红和陶秀萍团队较早对 RH 进行了初步的研究，探究 RH 对肉鸡生产性能[3]、体温和血浆相关激素水平[4-6]等的影响。

20 世纪 60 年代，Freeman[7]首次总结发现当温度达到或者超过家禽热喘的阈值，且家禽主要靠水蒸发来散热时，RH 在家禽的水蒸发过程中就变得越来越不容忽视。而 RH 对家禽水蒸发散热（evaporative water loss，EWL）的影响迄今为止还未见综述报道。本文主要综述 EWL 在家禽热平衡调节中的重要作用，及 RH 对家禽 EWL 的影响，并结合由此而引发的对家禽健康的影响，探讨 RH 在家禽实际生产中的重要作用。

1 EWL 方式及其在热平衡调节中的作用

收稿日期：2015-09-15

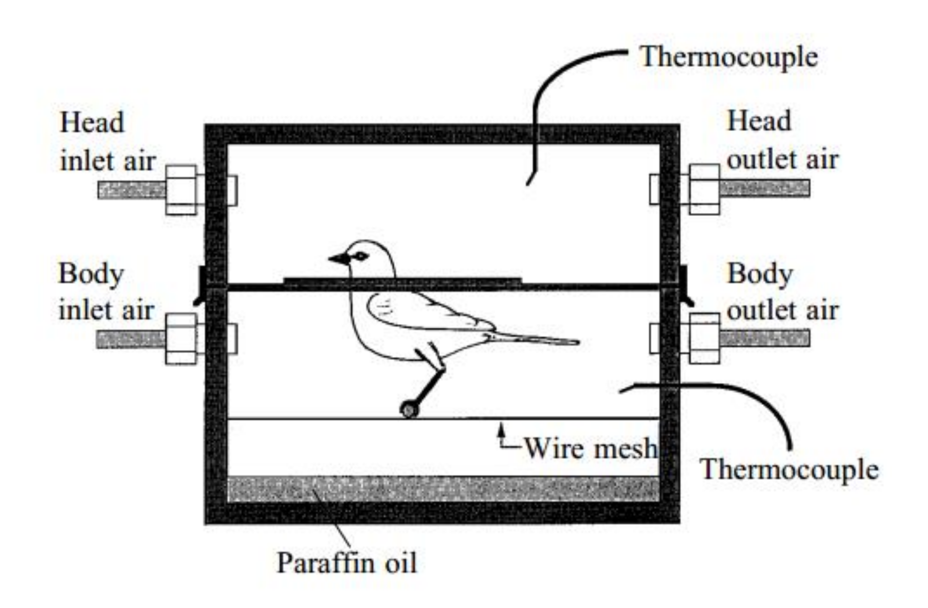
基金项目：国家科技支撑计划课题“畜禽健康养殖环境控制关键技术与集成”（2012BAD39B02）；中国农业科学院科技创新团队项目（ASTIP-IAS07）

作者简介：周莹（1991－），女，河南南阳人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: 1361841518@qq.com

*通信作者：张敏红，研究员，博士生导师，E-mail: zmh66@126.com

家禽的热平衡状态是产热和散热达到的一种动态平衡状态，在高温环境下，家禽主要靠蒸发散热（evaporative heat loss，EHL）来维持热平衡状态。蒸发是将体液的水分在皮肤和呼吸道黏膜表面由液态转换为气态，因此家禽总的水蒸发散热（total evaporative water loss，TEWL）方式包括有呼吸水蒸发散热（respiratory evaporative water loss，REWL）方式[8]和皮肤水蒸发散热（cutaneous evaporative water loss，CEWL）方式[9]2 种。Campbell 等[10]在他们写的环境生物物理学书中指出，皮肤或者呼吸道表面水蒸发的快慢是由其表面的温度决定，一般来说，表面温度越高，水蒸发越快。

在 20 世纪 50 年代，Hutchinson[11]开始研究家禽在热环境下用水蒸发损失作为一个基础评估热应激。水蒸发分为皮肤和呼吸 2 种方式，而在热环境中，国内对家禽 CEWL 的研究几乎没有。仅在我国的教科书《家畜环境卫生学》（2011 年修订版）[12]阐述，皮肤蒸发机制有 2 个：一为渗透蒸发，二为显汗蒸发。猪、鸡等有效汗腺少，显汗较少。运用二区代谢室可以区分 REWL 和 CEWL（图 1[13]）。许多学者利用此法将禽类头部和身体分开，分别测定 REWL 和 CEWL，从 16 种禽类的研究结果发现，其中有 13 种禽类在干燥空气（温度为 20~35 ℃）中，CEWL 等于或超过 REWL[14-21]。在 1976 年，Richards[17]对巴布可克 390 杂交的家禽（12~24 月龄，体重平均仅 2.04 kg）研究时发现，温度为 0 ℃时，CEWL 占 TEWL 的 78%；在 35 ℃时，占到 28%；而在 40 ℃时，也占到 25%，虽然随着温度升高 CEWL 比例下降了，但仍然具有重要的作用。Wolf 等[22]在黄头小山雀的研究中也得到相同结果。Bouverot 等[16]研究发现，20 ℃时，北京鸭的 CEWL 占 TEWL 的 67%；30 ℃时，占 50%；在 35 ℃时，仍占 25%。Bernstein[23]研究发现，25 和 35 ℃时，幼龄鹌鹑和成年鹌鹑的 CEWL 都超过 REWL。同样，研究发现，鸽子在低温或者偏热条件下（0~40 ℃），CEWL 等于或者超过 REWL[24]。后来的研究也显示，在上述禽类中，CEWL 可以占到 TEWL 的 40%~75%[25-27]，且 CEWL 对水平衡和热平衡有重要的作用。Webster 等[28]在研究鸽子的皮肤和呼吸的温湿度动力学中发现，在热中性环境温度时，CEWL 显著超过 REWL，且在高温和低温，CEWL 都起到不容忽视的作用。可见，在高温环境下，禽类不仅通过 REWL 影响禽类的热平衡状态，CEWL 也起到重要的作用。



Head inlet air：头部进气；Head outlet air:头部出气；Body inlet air：身体进气；Body outlet air：身体出气；Thermocouple：热电偶；Wire mesh：丝网；Paraffin oil：石蜡油。

图 1　用于区分 REWL 和 CEWL 的二区代谢室

Fig.1　Two-compartment metabolic chamber used for partitioning REWL and CEWL[13]

综上所述，尽管禽类没有汗腺，全身覆有羽毛，随着温度的升高，CEWL 占 TEWL 的比例有所下降，但 CEWL 在热平衡调节中起到影响水平衡和热平衡状态这样不容忽视的作用。而迄今为止，在国内外所选育的快速增长型和大块胸肌产量型的肉鸡以及高产蛋鸡上，CEWL 在热平衡调节中是否有同样不容忽视的作用还未见报道。

2　RH 对家禽 EWL 及其方式的影响

对家禽来说，高温条件下主要靠水蒸发来散热，而水蒸发的驱动力是正比于机体蒸发面的水汽压和空气水汽压之差，后者就是通过 RH 来呈现的。Welch[29]研究发现，当对流恒定时，来自动物表面的蒸发率随环境中 RH 的增加呈线性降低。Welch[29]同样发现，在潮湿环境中，血管收缩的变化和外周血流量增加可以升高表面皮肤的温度，从而增加 CEWL 的驱动力。

Romijn 等[30]发现，当畜舍内环境温度为 23.8 ℃时，家禽 TEWL 不受 RH 的影响。而当环境温度高于家禽临界温度上限时，如果 RH 从 40%增至 90%，鸡的 TEWL 占总散热的比例几乎下降 1/2[31]。Misson[32]发现，当温度为 43 ℃，肉鸡在 RH 为 20%的情况下仍可以生存，但当 RH 达到 80%，温度超过 41.5 ℃肉鸡就不能存活，这是因为在低湿的情况下，肉鸡可以通过水蒸发多散发 17%的热量，可见，相比高湿来说，低湿更有利于肉鸡的散热。Romijn 等[13]的研究也发现类似情况。

在适温情况下（20 ℃），低湿和高湿对成年家禽EWL的影响相同；当温度上升至24 ℃，成年家禽在低湿情况下会多散热28%；而当外界温度达到34 ℃，成年家禽在低湿时会多散热41%。在不同环境温度和RH下，成年家禽的EWL占总的EHL的比例见表1。

表1　环境中温度和RH对成年家禽EWL的影响

Table 1　Effects of temperature and RH in environment upon EWL of adult fowl[7]

气候 Climate		温度 Temperature/℃	相对湿度 RH/%	EWL比例 Rate of EWL/%
适温 Optimum temperature	低湿 Low humidity	20	40	25
	高湿 High humidity	20	87	25
偏热 Warm	低湿 Low humidity	24	40	50
	高湿 High humidity	24	84	22
热 Hot	低湿 Low humidity	34	40	80
	高湿 High humidity	34	90	39

而RH对CEWL和REWL这2种EWL分配的影响文献仅有1篇。Webster[27]在研究鸽子的温湿度动力学中发现，在20和30 ℃（温度适中区），REWL和CEWL随着环境RH的增加而呈线性快速降低，且REWL和CEWL所呈现的斜率无显著差异。而在现在所选育的新型品种的家禽上，RH对REWL和CEWL的影响趋势是否一致尚未见报道。

3　RH对家禽健康的影响

由上所述，EWL在高温环境下家禽水平衡和热平衡中起着主要的作用。高温环境下，高湿会阻碍家禽的EWL，导致热量散不出去，进而影响到家禽的体温恒定、呼吸和酸碱平衡，损害家禽的健康，降低采食量。

3.1　对体温恒定的影响

家禽的热平衡是产热和散热达到一种动态平衡状态，这需要机体在遇到冷热刺激时，进行相应的调节，从而维持体温的恒定。肉鸡体核温度和呼吸频率是反映其热平衡调节的重要生理指标[33]。尽管家禽无汗腺，全身覆盖羽毛，但是CEWL散热方式仍占有重要的作用，且研究发现肉鸡无羽区的皮肤温度与环境温度之间的相关系数达到0.8[34]。

Prince等[35]报道，当环境温度为12.6和23.8 ℃时，50%～90%的RH对4~8周龄肉鸡

的生长率和采食量没有影响。Milligan 等[36]研究发现，当环境温度为 15.6、21.1 和 26.7 ℃，持续高湿和低湿对家禽的生产性能没有影响。20 世纪 70 年代末，Freeman[7]总结发现，当环境温度低于 25 ℃时，环境中的 RH 就不是很重要。之后，林海[37]研究表明，用红外线测温仪测量肉鸡皮温（胸部、背部、趾部、腿部和翅部）和用热敏电阻测头测定肛温，发现在低于 25 ℃的条件下环境 RH 对肉鸡体温的影响并不显著。可见，低温时，RH 对家禽的影响并不显著，家禽可以维持体温恒定。

Yahav[38]研究表明，用数字温度计测量肉鸡的直肠温度（RT）和皮温（翅下无羽区），持续 28 ℃时，环境 RH（40%~45%、50%~55%、60%~65%和 70%~75%）对 4~8 周龄肉鸡体温无显著差异。Adams 等[39]阐述，持续环境温度 29 ℃时，高湿（80% vs. 40%）可使 4~8 周龄肉鸡的体温升高。Wilson 等[40]研究发现，在环境温度为 29.4 ℃时，白来航鸡的皮温随着 RH 的增加（RH 分别为 28%、40%和 72%）而增加。顾宪红等[4]研究发现，当环境温度为 30 ℃时，高湿（RH 为 80%）与低湿（RH 为 40%）比，鸡的冠温、翅温、胫温和趾温极显著升高，RT 和胸温显著升高。顾宪红等[5]研究发现，持续环境温度（32±1） ℃时，RH 为 90%组肉鸡（23~37 日龄）的 RT 显著高于 RH 为 30%组和 60%组。Lin 等[41]研究发现，持续环境温度 35 ℃时，高湿（85% vs. 60%）显著提高肉鸡的体核温度以及背部翅温和胸部皮温。林海等[42]研究发现，高温（35 ℃）或高湿（RH 为 85%）均使初生雏鸡体温显著升高，高温高湿（35 ℃，RH 为 85%)组体温最高，其次为高温低湿（35 ℃，RH 为 35%）组，对照组与低温(27 ℃，RH 分别为 35%和 85%)组较低。陶秀萍[6]研究表明，温度越高，RH 越大，应激时间越长，体温升高越多。Kamar 等[43]报道，在高温条件下，成年家禽体温升高与 RH 增加有关。但是 Yahav 等[44]发现，环境温度为 35 ℃、RH 为 60%~65%时，5~8 周龄的肉鸡有最大的增长率、采食量和二氧化碳分压（PCO_2），且此时有最低的 RT、皮温和 pH。Prinzinger 等[45]阐述，在环境温度 35 ℃，长期暴露于 RH 为 60%~65%，家禽可以控制自己的体温在正常范围内，然而在高湿或者低湿情况下，都会出现体温升高。

由上述试验结果可知，当温度处于肉鸡热中性区温度之上时，随着温度的升高，RH 对肉鸡的影响也起着不容忽视的作用，高湿和低湿都会造成肉鸡体温升高，且高湿影响程度更大，60%~65%的 RH 会使肉鸡处于最佳生长状态。而现在随着红外热成像技术已逐步应用于禽类测定皮温[46-50]，这是否为我们以后探究 RH 对家禽皮温的影响，减少对肉鸡的应激，

提供了更加精准的结果，需进一步研究揭示。

3.2 对呼吸和酸碱平衡的影响

家禽呼吸系统的主要功能，一是供给机体氧气并由血液排出代谢产生的CO_2，二是通过水蒸发来散热。暴露于高温的情况下，家禽为了不使体温升高到致死水平，他们会增加水蒸发来散热，最显著的变化是加快呼吸道黏膜的水蒸发，可能达到一般情况的20倍，这进而影响到肺脏的气体交换，CO_2排出增加，严重会导致呼吸性碱中毒。Ota的[51]研究表明，当环境温度升高时，热损失以家禽呼吸道潜在形式变得更加重要。之后Bouchillon的[52]运用一个数学模型来表明，当环境温度接近家禽体温时，家禽必须以潜在形式散热，而此时，RH在热量散出的过程中是一个关键因子。当外界温度为38 ℃时，RH为50%对家禽来说可能较低，但当温度达到40.6 ℃时，RH为50%对家禽来说就可能过高，会使家禽热虚脱[53]。在高温环境下，高湿会阻碍蒸发冷却散热，但是过度失水也会阻碍EHL，减少喘息率，导致鸡热中暑[54-55]，影响鸡健康。Chwallbog等[56]研究表明，EHL随RH的增加而线性地降低。Wilson[57]认为，在32 ℃和50%~60%RH时，蛋鸡EHL达到最大值，这表明，当RH高于60%时，会阻碍EHL，不利于EHL。

血液中的酸碱平衡是机体新陈代谢生命活动的基础，长期热应激会导致酸碱平衡紊乱，造成肉鸡出现呼吸性碱中毒[58-59]，而家禽出现呼吸性碱中毒会降低其生长率[59-60]，改变肉鸡的生理状况。在高温条件下，蒸发冷却和呼吸性碱中毒的差异相关联——由于热喘而导致过度换气[61-62]；由于水分损失增加——限制热喘，呼吸性碱中毒没有进一步发展[8]。Yahav等[44]研究表明，当肉鸡暴露于35 ℃时，随着肛温增加，RH降低到40%~45%，可能会出现呼吸性碱中毒。Altan等[63]将35日龄肉鸡38 ℃热暴露2 h，发现肉鸡RT升高，但酸碱平衡未受到影响。Teeter等[64]在其研究中注意到鸡在长期适应过程中，热喘息往往是间歇性地出现，在长期高温应激条件下，机体呈现间歇性的碱中毒，而不是持续性的中毒。另有研究发现，在环境温度35 ℃，RH为60%~65%时，家禽没有出现呼吸性碱中毒，这一方面是因为肾足以补偿碳酸氢根[52]，另一方面是由于适宜的RH能够维持酸碱平衡，降低呼吸性碱中毒的发生率。

综合以上试验结果发现，高温条件下，RH在热量散出的过程中是一个关键因子，但当RH超过60%时，会阻碍家禽的EHL，不利于EHL，造成呼吸加快，严重时导致热虚脱和

呼吸性碱中毒，酸碱平衡紊乱。

3.3 对采食量的影响

采食活动是动物赖以生存的最基本活动之一，采食量的高低与家禽的健康状态密切相关。RH 作为影响家禽采食量高低的重要因素之一，与温度共同影响家禽的健康状态。Charles[65]总结得出，气温在 27 ℃时，高湿就有可能降低肉鸡采食量，使肉鸡生长缓慢；在 29 ℃时，RH 从 40%升高至 80%，肉鸡采食量显著降低，生产性能明显下降。Adams 等[39]阐述，持续环境温度 29 ℃时，高湿（80% vs. 40%）降低 4~8 周龄肉鸡的采食量和生长率。Yahav 等[38,44]研究表明，当环境温度为 28、30 和 35 ℃时，4~8 周龄肉鸡在 RH 为 60%~65%时的生长率和采食量最高。Winn 等[66]发现，持续环境温度 32 ℃时，高湿（90% vs. 40%）降低了 3~5 周龄肉鸡的生长率。顾宪红等[3]研究发现，环境温度为 32 ℃时，RH 为 90%组肉鸡末重、增重和耗料量均显著低于 RH 为 60%组和 30%组，而料重比则显著增加；RH 为 60%组和 30%组之间末重、增重、耗料量和料重比均没有差异。可见，高温环境下，高湿导致家禽生产性能快速下降[38,44]。

综合以上试验结果发现，当温度高于家禽热中性区温度时，家禽获得最高采食量的 RH 范围是 60%~65%，高于或低于这个 RH 范围都会造成家禽采食量降低，且高湿比低湿对采食量下降的影响更大。

4 小 结

适宜 RH 时，EHL 达到最大；高温环境下，高湿会阻碍家禽的 EHL，从而造成体温上升、呼吸加快、食欲下降，严重时导致酸碱平衡紊乱、热虚脱和呼吸性碱中毒。今后应进一步研究 RH 对高温环境下家禽 EWL 途径分配是否有影响，并找到其生理功能和呼吸功能的 RH 拐点，为实际生产中确定合理 RH 提供科学依据。

参考文献：

[1] LIN H,JIAO H C,BUYSE J,et al.Strategies for preventing heat stress in poultry[J].World’s Poultry Science Journal,2006,62(1):71–86.

[2] ROMANOFF A L.Effect of humidity on the growth,calcium metabolism,and mortality of the chick embryo[J].Journal of Experimental Zoology,1929,54(2):343–348.

[3] 顾宪红,杜荣,方路.高温条件下湿度对肉仔鸡耗料量、耗水量及生产性能的影响[J].家畜

生态,1998,19(1):1–5.

[4] 顾宪红,杜荣,林海.湿度和风速对高温条件下肉仔鸡体热平衡及其血浆相关激素水平的影响[J].动物营养学报,1997,9(4):44–49.

[5] 顾宪红,杜荣,方路.高温条件下湿度对肉仔鸡直肠温度和血浆三碘甲腺原氨酸、胰岛素水平的影响[J].中国农业科学,1999,32(1):105–107.

[6] 陶秀萍.不同温湿风条件对肉鸡应激敏感生理生化指标影响的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2003.

[7] FREEMAN B M.Physiological responses of the adult fowl to environmental temperature[J].World's Poultry Science Journal,1966,22(2):140–145.

[8] MARDER J,ARAD Z.Panting and acid-base regulation in heat stressed birds[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1989,94(3):395–400.

[9] OPHIR E,ARIELI Y,MARDER J,et al.Cutaneous blood flow in the pigeon columba livia:its possible relevance to cutaneous water evaporation[J].The Journal of Experimental Biology,2002,205(17):2627–2636.

[10] CAMPBELL G S,NORMAN J M.An introduction to environmental biophysics[M].New York:Springer,1998.

[11] HUTCHINSON J C D.Evaporative cooling in fowls[J].The Journal of Agricultural Science,1954,45(1):48–59.

[12] 颜培实,李如治.家畜环境卫生学[M].4 版.北京:高等教育出版社,2011:32.

[13] ROMIJN C,LOKHORST W.Heat regulation and energy metabolism in the domestic fowl[M]//HORTON-SMITH C,AMOROSO E C.Physiology of the Domestic Fowl.Edinburgh:Oliver & Boyd,1966:211–227.

[14] BERNSTEIN M H.Cutaneous and respiratory evaporation in the painted quail,*Excalfactoria chinensis*,during ontogeny of thermoregulation[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1971,38(3):611–617.

[15] BERNSTEIN M H.Cutaneous water loss in small birds[J].Condor,1971,73:468–469.

[16] BOUVEROT P,HILDWEIN G,LE GOFF D.Evaporative water loss,respiratory pattern,gas

exchange and acid-base balance during thermal panting in Pekin ducks exposed to moderate heat[J].Respiration Physiology,1974,21(2):255–269.

[17] RICHARDS S A.Evaporative water loss in domestic fowls and its partition in relation to ambient temperature[J].The Journal of Agricultural Science,1976,87(3):527–532.

[18] MARDER J,BEN-ASHER J.Cutaneous water evaporation—Ⅰ.Its significance in heat-stressed birds[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1983,75(3):425–431.

[19] APPLEYARD R F.Cutaneous and respiratory water losses in the ring dove,*Streptopelia risoria*[D].Master Thesis.Pullman:Washington State University,1979.

[20] LASIEWSKI R C,BERNSTEIN M H,OHMART R D.Cutaneous water loss in the roadrunner and poor-will[J].Condor,1971,73(4):470–472.

[21] WITHERS P C.Energy,water,and solute balance of the ostrich struthio camelus[J].Physiological Zoology,1983,56(4):568–579.

[22] WOLF B,WALSBERG G.Respiratory and cutaneous evaporative water loss at high environmental temperatures in a small bird[J].Journal of Experimental Biology,1996,199(2):451–457.

[23] BERNSTEIN M H.Cutaneous and respiratory evaporation in painted quail,excalfactoria chinensis[J].American Zoologist,1969,9(4):1099.

[24] SMITH R M.Cardiovascular,respiratory,temperature and evaporative water loss responses of pigeons to varying degrees of heat stress[D].Ph.D.Thesis.Indiana:Indiana University,1969.

[25] DAWSON W R.Evaporative losses of water by birds[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1982,71(4):495–509.

[26] WEBSTER M D,BERNSTEIN M H.Ventilated capsule measurements of cutaneous evaporation in mourning doves[J].Condor,1987,89(4):863–868.

[27] WEBSTER M D.Behavioral and physiological adaptations of birds to hot desert climates[C]//Proceedings of the 20th International Ornithological

Congress.Christchurch,New Zealand,1991:1765–1776.

[28] WEBSTER M D,KING J R.Temperature and humidity dynamics of cutaneous and respiratory evaporation in pigeons,*Columba livia*[J].Journal of Comparative Physiology B,1987,157(2):253–260.

[29] WELCH W R.Evaporative water loss from endotherms in thermally and hygrically complex environments:an empirical approach for interspecific comparisons[J].Journal of Comparative Physiology,1980,139(2):135–143.

[30] ROMIJN C,LOKHORST W.Climate and poultry.heat regulation in the fowl[J].Tijdschr Diergeneeskd,1961,86:153–172.

[31] 黄昌澍.家畜气候学[M].南京:江苏科学技术出版社,1989:68.

[32] MISSON B H.The effects of temperature and relative humidity on the thermoregulatory responses of grouped and isolated neonate chicks[J].The Journal of Agricultural Science,1976,86(1):34–43.

[33] EGBUNIKE G N.The relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in the thermorespiratory function in the chicken[J].Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe A,1979,26(7):573–579.

[34] DE ALENCAR Nääs I,ROMANINI C E B,NEVES D P,et al.Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens[J].Scientia Agricola,2010,67(5):497–502.

[35] PRINCE R P,WHITAKER J H,MATTERSON L D,et al.Response of chickens to temperature and relative humidity environments[J].Poultry Science,1965,44(1):73–77.

[36] MILLIGAN J L,WINN P N.The influence of temperature and humidity on broiler performance in environmental chambers[J].Poultry Science,1964,43(4):817–824.

[37] 林海.肉鸡实感温度的系统模型分析及热应激下的营养生理反应[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,1996.

[38] YAHAV S.Relative humidity at moderate ambient temperatures:its effect on male broiler chickens and turkeys[J].British Poultry Science,2000,41(1):94–100.

[39] ADAMS R L,ROGLER J C.The effects of dietary aspirin and humidity on the performance

of light and heavy breed chicks[J].Poultry Science,1968,47(4):1344–1348.

[40] WILSON W O,EDWARDS W H.Interaction of humidity and temperature as affecting comfort of White Leghorn hens[J].Poultry Science,1953,32(5):929.

[41] LIN H,ZHANG H F,DU R,et al.Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. Ⅱ .Four weeks of age[J].Poultry Science,2005,84(8):1173–1178.

[42] 林海,杜荣,顾宪红.初生雏鸡对不同温热环境的体温调节反应[J].动物营养学报,1996,8(1):34–39.

[43] KAMAR G A R,KHALIFA M A S.The effect of environmental conditions on body temperature of fowls[J].British Poultry Science,1964,5(3):235–244.

[44] YAHAV S,PLAVNIK I,RUSAL M,et al.Response of turkeys to relative humidity at high ambient temperature[J].British Poultry Science,1998,39(3):340–345.

[45] PRINZINGER R,PREßMAR A,SCHLEUCHER E.Body temperature in birds[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1991,99(4):499–506.

[46] PHILLIPS P K,SANBORN A F.An infrared,thermographic study of surface temperature in three ratites:ostrich,emu and double-wattled cassowary[J].Journal of Thermal Biology,1994,19(6):423–430.

[47] STEWART M,WEBSTER J R,SCHAEFER A L,et al.Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare[J].Animal Welfare,2005,14(4):319–325.

[48] YAHAV S,SHINDER D,RUZAL M,et al.Controlling body temperature-the opportunities for highly productive domestic fowl[M]//CISNEROS A B, GIONS B L.Body Temperature Regulation.New York:Nova Science,2009:65–98.

[49] YAHAV S,LUGER D,CAHANER A,et al.Thermoregulation in naked neck chickens subjected to different ambient temperatures[J].British Poultry Science,1998,39(1):133–138.

[50] YAHAV S,STRASCHNOW A,LUGER D,et al.Ventilation,sensible heat loss,broiler energy,and water balance under harsh environmental conditions[J].Poultry

Science,2004,83(2):253–258.

[51] OTA H,GARVE H L,ASHBY W.Heat and moisture production of laying hens[J].Agriculture.England.1953,34:163–167.

[52] BOUCHILLON C W,REECE F N,DEATON J W.Mathematical modeling of thermal homeostasis in a chicken[J].Transactions of the ASAE,1970,13(5):648–652.

[53] REECE F N,DEATON J W,KUBENA L F.Effects of high temperature and humidity on heat prostration of broiler chickens[J].Poultry Science,1972,51(6):2021–2025.

[54] SCHMIDT-NIELSEN K,CRAWFORD E C,Jr.,NEWSOME A E,et al.Metabolic rate of camels:effect of body temperature and dehydration[J].American Journal of Physiology,1967,212(2):341–346.

[55] ARAD Z,ARNASON S S,CHADWICK A,et al.Osmotic and hormonal responses to heat and dehydration in the fowl[J].Journal of Comparative Physiology B,1985,155(2):227–234.

[56] CHWALIBOG A,EGGUM B O.Effect of temperature on performance,heat production,evaporative heat loss and body composition in chickens[J].Archiv für Geflügelkunde,1989,53:179–184.

[57] WILSON W O.Viability of embryos and of chicks in inbred chickens[J].Poultry Science,1948,27(6):727–735.

[58] ODOM T W,HARRISON P C,BOTTJE W G.Effects of thermal-induced respiratory alkalosis on blood ionized calcium levels in the domestic hen[J].Poultry Science,1986,65(3):570–573.

[59] COHEN I,HURWITZ S.The response of blood ionic constituents and acid-base balance to dietary sodium,potassium and chloride in laying fowls[J].Poultry Science,1974,53(1):378–383.

[60] HURWITZ S,COHEN I,BAR A,et al.Sodium and chloride requirements of the 7-9-week-old broiler[J].Poultry Science,1974,53(1):326–331.

[61] MASKREY M.Metabolic and acid-base implications of thermal panting[M]//HALES J R S.Thermal Physiology.New York:Raven Press,1984:347–352.

[62] MATHER F B,BARNAS G M,BURGER R E.The influence of alkalosis on panting[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1980,67(2):265–268.

[63] ALTAN O,ALTAN A,OGUZ I,et al.Effects of heat stress on growth,some blood variables and lipid oxidation in broilers exposed to high temperature at an early age[J].British Poultry Science,2000,41(4):489–493.

[64] TEETER R G,SMITH M O,OWENS F N,et al.Chronic heat stress and respiratory alkalosis:occurrence and treatment in broiler chicks[J].Poultry Science,1985,64(6):1060–1064.

[65] CHARLES D R.Temperature for broilers[J].World's Poultry Science Journal,1986,42(3):249–258.

[66] WINN P N,GODFREY E F.The effect of humidity on growth and feed conversion of broiler chickens[J].International Journal of Biometeorology,1967,11(1):39–50.

Effect of Relative Humidity on Evaporative Water Lose and Health of Poultry

ZHOU Ying ZHANG Minhong*

(*State Key Laboratory of Animal Nutrition*, *Institute of Animal Science*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193,*China*)

Abstract: As a principal parameter of thermal load, relative humidity (RH) affects the regulation of thermal balance of poultry along with ambient temperature and air velocity. At appropriate RH level, evaporation heat lose (EHL) can reach the maximum amount. Under the environment of high temperature, high humidity hinders the EHL of poultry, which causes the rise of body temperature, rapids breathing, loss of appetite, seriously, and leads to acid-base balance disorders, heat collapse and respiratory alkalosis. This paper reviewed the main important functions of evaporation water lose （EWL）, such as the heat balance adjustment, and influence on poultry EWL, and the influence on the poultry health, aimed at emphasis of the importance of RH in poultry production.

Key words: relative humidity; poultry; evaporative water lose; respiratory evaporative water lose; cutaneous evaporative water lose; health

*Corresponding author, professor, E-mail: zmh66@126.com （责任编辑　陈　燕）